Scenario analysis applied to mining for decision making and risk analysis

María Angélica Salinas-Murga,[1], Solio Marino Arango-Retamozo, Dr. [1], Sandra Keiko Briceño-Contreras, [1], Aldo Roger Castillo-Chung, MSc. [2], Christian Michell Torres-Rivera, MSc. [2], Cesar Arévalo-Aranda, Dr. [3], Hans Roger Portilla-Rodriguez, MSc. [4]

[1]Departamento de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, masalinasm@unitru.edu.pe, sarango@unitru.edu.pe, sbriceño@unitru.edu.pe

[2]Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, alrocas@unitru.edu.pe, chtorres@unitru.edu.pe

[3]Facultad de Ingeniería, Universidad Privada del Norte, Perú, cesar.arevalo@upn.edu.pe

[4]Departamento de Ciencias, Universidad Privada del Norte, Perú, hans.portilla@upn.pe

Abstract- ***The objective of this research was to analyze scenarios through decision making and risk analysis, which was applied in the construction of a cruise ship in the Atlantis project. The methodology that was used is quantitative based on event information, which through a graphical representation facilitated the understanding and interpretation of the decision tree, in addition, statistical methods were applied for risk analysis, it should be noted that in order to obtain data was considered that of other studies. The results obtained from the decision tree were that the first alternative that was proposed had a NPV of $3,970, the second of $3,405 and regarding the risk analysis, the coefficient of variation of the first option is 57% and the second 60%. Therefore, after having made the graphical representation and verified the risk, it is concluded that, for the construction of the cruiser, option 1 has the most viable decision regarding the path traced in the graph, the highest NPV and the lowest risk.***

Keywords: Decision tree; risk; mining operation

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LEIRD).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LEIRD).
DO NOT REMOVE

Análisis de escenarios aplicado a minería para la toma de decisiones y análisis de riesgos

María Angélica Salinas-Murga,[1], Solio Marino Arango-Retamozo, Dr. [1], Sandra Keiko Briceño-Contreras, [1], Aldo Roger Castillo-Chung, MSc. [2], Christian Michell Torres-Rivera, MSc. [2], Cesar Arévalo-Aranda, Dr. [3], Hans Roger Portilla-Rodriguez, MSc [4]

[1]Departamento de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, masalinasm@unitru.edu.pe, sarango@unitru.edu.pe, sbriceño@unitru.edu.pe

[2]Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, alrocas@unitru.edu.pe, chtorres@unitru.edu.pe

[3]Facultad de Ingeniería, Universidad Privada del Norte, Perú, cesar.arevalo@upn.edu.pe

[4]Departamento de Ciencias, Universidad Privada del Norte, Perú, hans.portilla@upn.pe

Resumen- El objetivo de la presente investigación fue analizar escenarios mediante la toma de decisiones y análisis de riesgos, el cual se aplicó en la construcción de un crucero en el proyecto Atlantis. La metodología que se utilizó es cuantitativa con base en información de eventos, que a través de una representación gráfica facilitó la comprensión e interpretación del árbol de decisión, además, se aplicó métodos estadísticos para el análisis de riesgos, cabe resaltar que para la obtención de datos se consideró la de otros estudios. Los resultados que se obtuvieron del árbol de decisión fue que la primera alternativa que se planteó tuvo un VAN de $3 970, la segunda de $3 405 y respecto al análisis de riesgos, el coeficiente de variación de la primera opción es de 57% y de la segunda un 60%. Por lo tanto, luego de haber realizado la representación gráfica y comprobado el riesgo, se concluye que, para la construcción del crucero, la opción 1 tiene la decisión más viable respecto al camino trazado en la gráfica, el VAN más elevado y el menor riesgo.

Palabras clave: Árbol de decisión; riesgo; operaciones mineras

I. INTRODUCCIÓN

Tomar una decisión implica elegir entre varias opciones, analizando qué sucedería si se selecciona cada alternativa [1], por esa razón se ha desarrollado diversas técnicas de análisis de datos, principalmente basadas en métodos estadísticos. Sin embargo, para tomar decisiones importantes y significativas es necesario buscar métodos alternativos [2]. Uno de ellos es el árbol de decisión, por tener la atractiva propiedad de ser sencillo de interpretar y fácil de entender [3].

El árbol de decisión es una técnica de aprendizaje inductivo que se da a partir de observaciones [4] y que va a permitir una organización eficiente del conjunto de datos, debido a que son construidos a partir de la evaluación del primer nodo que desciende en ramas hasta llegar al final del camino [5].

Esta técnica permite examinar los resultados y determinar visualmente cómo va a fluir el modelo dentro de una serie de posibles eventos. Al graficarlo y al analizar los riesgos, será necesario considerar métodos probabilísticos, porque va a permitir recopilar, representar, analizar e interpretar datos de eventos reales, teniendo en cuenta la frecuencia de un determinado suceso [6]. El aspecto más importante es que su estructura debe ser lo más simple posible [7]

Cabe mencionar que para la toma de decisiones se debe considerar el riesgo y las consecuencias que puede traer consigo elegir una alternativa [8]. Dicho esto, es necesario mencionar la diferencia entre riesgo e incertidumbre [9]. La decisión en condición de riesgo hace referencia a las decisiones se toman con información parcial sobre el tema y las probabilidades de ocurrencia, por lo tanto, la elección tendrá un riesgo asociado, pero en el caso de la decisión en condición de incertidumbre no se tiene conocimiento de los resultados [10].

Es importante saber que la toma de decisiones es una actividad que debe ser realizada en todos los niveles de una determinada organización, sean de menor o mayor incidencia, todas involucran acciones que conllevan a un determinado fin. En el mundo minero las situaciones para resolver problemas son múltiples y variadas, actualmente tomar decisiones en la industria minera varían según el tiempo, ya sea a largo, mediano o corto plazo, y según la jerarquía que corresponda [11].

Las empresas mineras tienen que tomar decisiones a diario, algunas de ellas son rutinarias o intrascendentes, mientras que otras tienen impactos negativos en las operaciones, la seguridad y calidad, algunas de estas decisiones involucran el logro o fracaso de los objetivos, el cumplimiento o incumplimiento a los programas o metas de la empresa [11]. Por lo tanto, el árbol de decisión es una técnica que va a permitir el análisis de escenarios para la toma de decisiones [12].

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología de estudio es cuantitativa con base en la información de eventos y datos numéricos extraídos de la

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LEIRD).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LEIRD).
DO NOT REMOVE

realidad, que a través de una representación gráfica facilita la comprensión e interpretación del árbol de decisión. Por otro lado, se hace uso de métodos estadísticos para el análisis de riesgos con el fin de comprobar que se ha tomado la decisión correcta.

A. Métodos y técnicas

La metodología de estudio es cuantitativa con base en la información de eventos y datos numéricos extraídos de la realidad, que a través de una representación gráfica facilita la comprensión e interpretación del árbol de decisión. Por otro lado, se hace uso de métodos estadísticos para el análisis de riesgos con el fin de comprobar que se ha tomado la decisión correcta.

1. Árbol de decisión

Los árboles de decisión constituyen una técnica de análisis que permite expresar [13] claramente la importancia de varios eventos [14] y se utiliza principalmente para el análisis de dichos datos [15], este va a representar los sucesos que envuelven a los escenarios con incertidumbre, para darnos diferentes alternativas de decisión, una de las ventajas que presenta esta metodología es que va a considerar todos los eventos que van a afectar a la actividad o incluso al proyecto, para luego replantear la decisión inicial en alguna etapa posterior [16].

Para su diseño se va a tener en consideración que los eventos estén ordenados cronológicamente, partiendo desde la izquierda hacia la derecha [17], como se observa en la Fig. 1. Cada árbol consta de tres tipos de nodos, para su representación se va a utilizar los siguientes elementos: nodos de decisión que se va a representar con un cuadrado y mostrará la decisión que se tomará, los nodos de probabilidad se representan mediante un círculo y mostrará la probabilidad de ciertos resultados y los nodos terminales mostrarán la ruta para tomar una decisión [18].

Según [19], las ventajas de un árbol de decisión son: fácil interpretación y comprensión de la decisión, explica el comportamiento de los eventos y reduce el número de variables independientes [20].

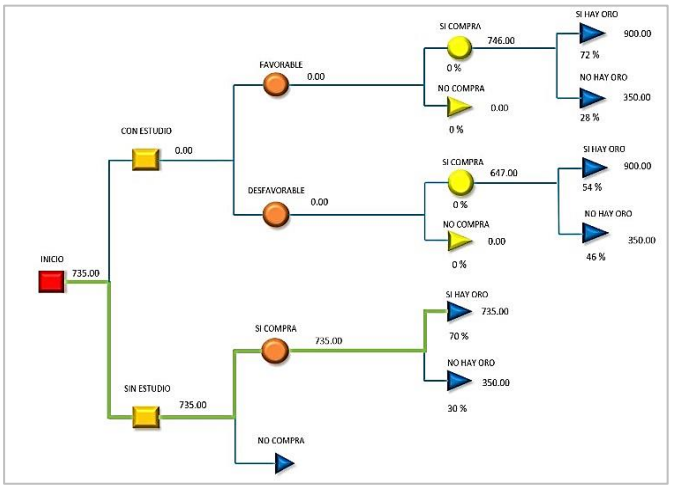

Fig. 1 Diseño y flujograma de análisis mediante el árbol de decisión

Para valorar y evaluar un árbol de decisión, en este caso se va a utilizar el VAN (Valor Actual Neto) que expresa tasas de rendimiento o índices de rentabilidad que tienen como objetivo identificar la eficiencia financiera de un proyecto [21]. En caso de que el VAN sea mayor o igual 0 el proyecto se acepta, sino se rechaza, pero si es negativo no implica que no estén obteniendo beneficios, sino que apenas alcanzan a cubrir las expectativas del proyecto [22].

2. Análisis de riesgos

A partir de los valores esperando del VAN, se va a determinar el riesgo asociado de cada alternativa, para ello, se va a considerar la varianza y la desviación típica, que es calculada como la raíz cuadrada de la varianza, de cada opción teniendo en cuenta sólo los caminos que se consideren válidos. Para dicho cálculo se emplea la ecuación (1).

$$\sigma^2[VAN]_i = \sum_{j=1}^{n} [(VAN_j - E_{i+1}) x\, p] \quad (1)$$

$$i = 1 \ldots m \quad j = 1..$$

Donde i son las diferentes alternativas a decidir; j son los posibles caminos válidos de la estrategia y p es la multiplicación de las probabilidades encontradas.

2.1. Métodos estadísticos

Al realizar una comparación entre las diferentes opciones del valor esperado del VAN, se va a hacer uso del coeficiente de variación (desviación típica y la esperanza), que es la medida del riesgo asumida de la ganancia esperada, donde la mejor alternativa es que el coeficiente de variación sea menor.

La ecuación (2) expresa la fórmula para calcular el E(VAN).

$$E[VAN]_j = E_{i+1} \quad (2)$$

La ecuación (3) expresa la fórmula para calcular la desviación típica.

$$\sigma^2[VAN]_i = \sum_{j=1}^{n}[(VAN_j - E_{i+1})x\ p \quad (3)$$

Donde i son las diferentes alternativas a decidir; j son los posibles caminos válidos de la estrategia y p es la multiplicación de las probabilidades encontradas.

La ecuación (4) expresa la fórmula para calcular el coeficiente de variación.

$$\mathrm{CV_i} = \frac{\sigma[VAN]_i}{E[VAN]_i} \quad (4)$$

III. RESULTADOS

A. *Caso aplicativo*

En el proyecto Atlantis se plantea ejecutar un crucero desde interior mina a superficie, para ello, se considera dos alternativas, la primera opción es realizar una nueva bocamina (opción 1 – 1 700m), la segunda es aprovechar una vieja bocamina llamada Perla (opción 2 – 1 960), a cada evento se asignará probabilidades de éxito, fracaso y beneficio, véase la tabla I, tabla II y tabla III.

TABLA I
PROBABILIDAD DE CUBICACIÓN DE RESERVAS

Éxito	Probabilidad
Cálculo de reservas de la opción 1	50%
Cálculo de reservas de la opción 2	50%

TABLA II
PROBABILIDAD DE BENEFICIO

Beneficio	Probabilidad
Alto beneficio	70%
Bajo beneficio	30%

Nota: Probabilidad de beneficio para ambas opciones [11]

TABLA III
ESTIMACIÓN DE PROBABILIDAD DE FRACASO

Fracaso	Probabilidad
Opción 1: Conflicto	50%
Opción 2: Inestabilidad e inundaciones	50%

B. *Elaboración del árbol de decisión*

En caso de elegir la opción 1 y se logre calcular el volumen de las reservas esperadas a lo largo de los dos primeros años, se va a generar ganancias de $4 665 440, en caso de no lograr calcular el volumen de las reservas, se obtendrá ganancias de $390 460, pero si el proyecto fracasa debido a conflictos se va a generar pérdidas de $1 700 410, como se observa en la tabla IV. La probabilidad de que se vaya a generar altos beneficios es de 70%, bajos beneficios 30%, fracaso del proyecto 50% y logro de cubicación 50%, véase en la tabla I, tabla II y tabla III.

TABLA IV
DATOS DEL CASH FLOW - OPCIÓN 1

Opción 1	0	1	2	3	4	Beneficio
Inversión	-1 700 410					
Altos beneficios		1 917 424	2 365 336	164 900	217 780	4 665 440
Bajos beneficios		0	80	169 900	220 480	390 460
Fracaso						-1 700 410

En caso de elegir la opción 2 y se logre calcular el volumen de las reservas esperadas a lo largo de los dos primeros años, se va a generar ganancias de $3 984 004, en caso de no lograr calcular el volumen de las reservas, se obtendrá ganancias de $335 380, pero si el proyecto fracasa debido a inundaciones se va a generar pérdidas de $1 930 245, como se observa en la tabla IV. La probabilidad de que se vaya a generar altos beneficios es de 70%, bajos beneficios 30%, fracaso del proyecto 50% y logro de cubicación 50%, véase en la tabla I, tabla II y tabla III.

TABLA V.
DATOS DEL CASH FLOW - OPCIÓN 2

Opción 2	0	1	2	3	4	Beneficio
Inversión	-1 930 245					
Altos beneficios		1 915 424	1 740 700	107 400	214 480	3 984 004
Bajos beneficios		0	0	114 900	220 480	335 380
Fracaso						-1 930 245

Para poder graficar el árbol de decisión se va a hacer uso de la tabla II y tabla III, teniendo en cuenta esos datos se va a plantear los posibles casos que se muestran en la tabla VI.

TABLA VI.
PLANTEAMIENTO DE LOS CASOS

Alternativa	Decisión	Pérdida/beneficio	Posibles casos
Opción 1	Éxito	Alto beneficio	C 1
		Bajo beneficio	C 2
	Fracaso	Pérdida por conflictos	C 3
Opción 2	Éxito	Beneficio alto	C 4
		Beneficio bajo	C 5
	Fracaso	Pérdida por inundaciones	C 6

Nota: Escenarios que se van a mostrar en el árbol de decisión [11]

En la Fig. 2, se ha representado mediante el árbol de decisión los casos planteados en la tabla IV, el diagrama de flujo muestra la alternativa, decisión, beneficio/pérdida; además, se ha considerado la probabilidad de cada de cada uno de ellos.

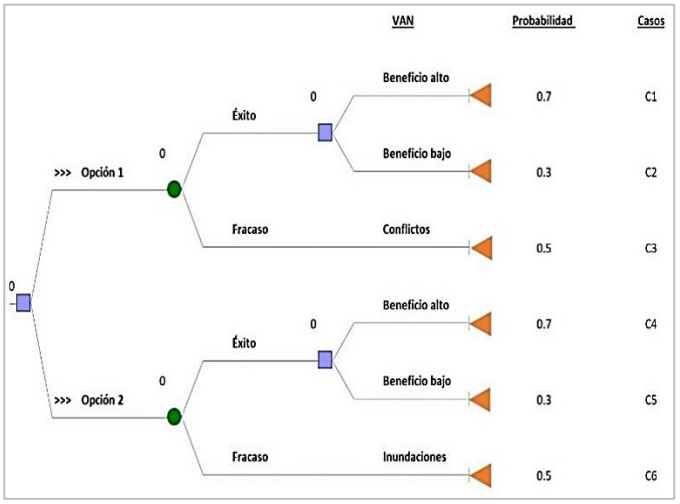

Fig. 2 Planteamiento del árbol de decisión

Para completar el árbol de decisión con el total (VAN) de cada caso, se hará uso de los datos del Cash Flow que se muestra en la tabla VII.

TABLA VII.

CÁLCULO DEL VAN

Caso	1 - FC	2 - FC	3 - FC	4 -FC
C 1	1 917	2 365	165	218
C 2	0	80	170	220
C 3	- 1 700	0	0	0
C 4	1 915	1 740	107	214
C 5	0	0	115	220
C 6	- 1 930	0	0	0

Nota: Datos para calcular el VAN

Con los datos de la tabla VII se va a realizar el cálculo del VAN para los seis casos planteados, se debe tener en consideración que la tasa de descuento es de 10%.

La ecuación (5) expresa la fórmula para calcular el VAN.

$$VAN_1 = \frac{c_1}{(1+i)} + \frac{c_2}{(1+i)^2} + \ldots + \frac{c_n}{(1+i)^n} \qquad (5)$$

Dónde el VAN_1 es el Valor Actual Neto; C_n es el Cash Flow para cada caso; i es la tasa de descuento y n es el N° de periodo. Los resultados están en $.

$$VAN_1 = \frac{1\,917}{(1+0.10)} + \frac{2\,365}{(1+0.10)^2} + \frac{165}{(1+0.10)^3} + \frac{218}{(1+0.10)^4} = 3\,970$$

$$VAN_2 = \frac{0}{(1+0.10)} + \frac{80}{(1+0.10)^2} + \frac{170}{(1+0.10)^3} + \frac{220}{(1+0.10)^4} = 344$$

$$VAN_3 = \frac{-1\,700}{(1+0.10)} + \frac{0}{(1+0.10)^2} + \frac{0}{(1+0.10)^3} + \frac{0}{(1+0.10)^4} = -1\,545$$

$$VAN_4 = \frac{1\,915}{(1+0.10)} + \frac{1\,740}{(1+0.10)^2} + \frac{107}{(1+0.10)^3} + \frac{214}{(1+0.10)^4} = 3\,405$$

$$VAN_5 = \frac{0}{(1+0.10)} + \frac{0}{(1+0.10)^2} + \frac{115}{(1+0.10)^3} + \frac{220}{(1+0.10)^4} = 236$$

$$VAN_6 = \frac{-1\,930}{(1+0.10)} + \frac{0}{(1+0.10)^2} + \frac{0}{(1+0.10)^3} + \frac{0}{(1+0.10)^4} = -1\,745$$

El árbol de decisión de la Fig. 3, muestra los resultados del VAN y la probabilidad de cada uno de los casos planteados en la tabla VI.

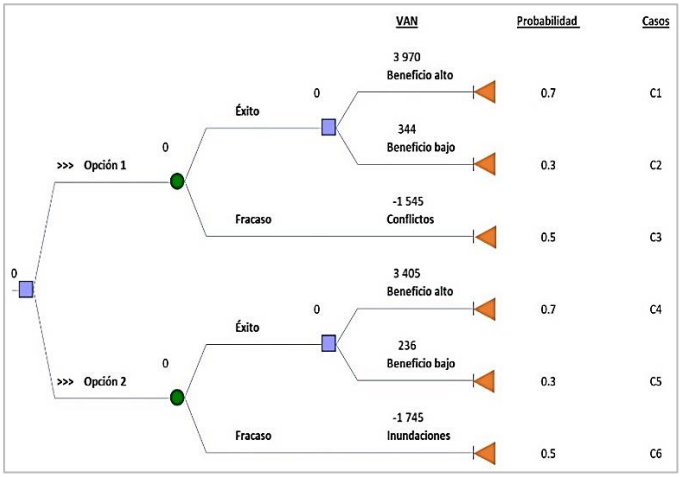

Fig. 3 Árbol de decisión considerando las probabilidades y el VAN

C. *Valoración del árbol de decisión*

Tras conocer el Valor Actual Neto de los seis casos, se va a calcular el valor esperado de cada nodo, como se observa en la tabla VIII, para ello, se parte del VPN de cada caso, de esta manera se va a determinar el valor del nodo inicial. En la Fig. 3 se muestran los datos necesarios para calcular el E(VAN).

TABLA VIII.

VALOR ESPERADO

Caso - Nodo	VAN	Probabilidad	VAN y P	E (VAN)	Probabilidad
C 1	3 970	70%	2779		
C 2	344	30%	103		
N 5	2 882				
C 3	-1 545	50%		-1 545	50%
N 5				2 882	50%
N 2					
C 4	3 405	70%	2 384		
C 5	236	30%	71		
N 6	2 454				
C 6	-1 745	50%		-1 752	50%
N 6				2 454	50%

Nota: Recopilación de datos para calcular el valor esperado

Una vez obtenido los resultados del E(VAN), se va a calcular el valor de los nodos iniciales, aleatorios y del nodo inicial.

a) Cálculo de los nodos de decisión:

$$E_5 = (VAN_1 x p_7) + (VAN_2 x p_8) = (3\,970 x 0.7) + (344 x 0.3) = 2\,882$$

$$E_6 = (VAN_4 x p_9) + (VAN_5 x p_{10}) = (3\,405 x 0.7) + (236 x 0.3) = 2\,454$$

b) Cálculo de los nodos de probabilidad:

$$E_2 = (VAN_3 x p_2) + (E_5 x p_2) = (-1\,545 x 0.5) + (2\,882 x 0.5) = 668$$

$$E_3 = (VAN_6 x p_3) + (E_6 x p_3) = (-1\,745 x 0.5) + (2\,454 x 0.5) = 355$$

c) Cálculo del nodo inicial:

$$E_1 = Max(668{,}355) = 668$$

En la Fig. 4 se han incluido todos los valores que se obtuvieron del VAN, cálculo de nodos y la probabilidad de cada caso, en dicha gráfica se muestra que la opción 1 es la decisión que se debe tomar para la construcción del crucero.

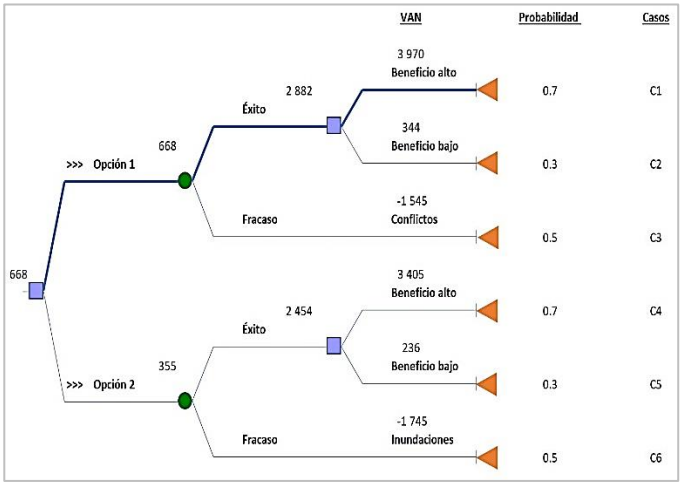

Fig. 4 Árbol de decisión muestra la alternativa viable para la construcción del crucero

Por lo tanto, en la unidad minera Atlantis se planteó dos alternativas, la primera fue realizar una nueva bocamina (opción 1 – 1 700m) y la segunda aprovechar una vieja bocamina (opción 2 – 1 960m), entonces, al haber realizado el análisis de escenarios haciendo uso del árbol de decisión, se concluye que, la decisión más viable sería la primera opción, porque si se hace una comparación del nodo probabilístico, el valor de la opción 1 es 668 y de la opción 2 es 355, a partir de ello se deduce que el resultado de la primera alternativa es más alto que la segunda, por ende es la decisión más certera.

Cabe resaltar que los criterios considerados para la selección de la alternativa son: El VAN, el cálculo de los nodos de decisión y probabilidad. Entonces, al calcular el Max de los nodos de probabilidad se va a obtener el resultado, donde el máximo valor va a representar la decisión que se debe tomar.

D. Cálculo del riesgo

Para el cálculo de riesgo hay que tener en cuenta que no sólo se debe basar en los resultados obtenidos, sino se debe considerar el riesgo de la decisión que se eligió. Por tal motivo, será necesario calcular la desviación típica de las alternativas favorables, teniendo en consideración los datos que se observan en la tabla IX.

TABLA IX.
DESVIACIÓN TÍPICA

Caso/opción	VAN	E(VAN)	Probabilidad	VAN-E(VAN)
C 1	3 970		70 %	1 088
C 2	344		30 %	-2 538
Opción 1		2 882		
C 4	3 405		70 %	954
C 5	236		30 %	-2 225
Opción 2		2 454		

Nota: Datos para el cálculo de la desviación típica

La ecuación (6) expresa la fórmula para calcular la varianza de cada opción.

$$\sigma^2[VAN]_{opción\,1} = \sum_{j=1}^{2}[(VAN_j - E_2) x\, p\,] \qquad (6)$$

a) Cálculo de la varianza de la opción 1:

$$\sigma[VAN]_{opción\,1} = ((VAN_1 - E_5)^2 x\, p_7) + ((VAN_2 - E_5)^2 x p_8)$$

$$\sigma[VAN]_{opción\,1} = ((3\,970 - 2\,882)^2 x\, 0.7) + ((344 - 2\,882)^2 x\, 0.3)$$

$$\sigma[VAN]_{opción\,1} = 2\,761\,054$$

Cálculo de la desviación típica:

$$\sigma[VAN]_{opción\,1} = \sqrt{2\,761\,054} = 1\,662$$

b) Cálculo de la varianza de la opción 2:

$$\sigma^2[VAN]_{opción\,2} = ((VAN_4 - E_6)^2 x\, p_9) + ((VAN_5 - E_6)^2 x\ p_{10})$$

$$\sigma^2[VAN]_{opción\,2} = ((3\,405 - 2\,454)^2 x\, 0.7) + ((236 - 2\,454)^2 x\, 0.3)$$

$$\sigma^2[VAN]_{opción\,2} = 2\,108\,937$$

Cálculo de la desviación típica:

$$\sigma^2[VAN]_{opción\,2} = \sqrt{2\,108\,937} = 1\,452$$

c) Cálculo del coeficiente de variación:

$$CV_{opción\ 1} = \frac{\sigma\ [VAN]_{opción\ 1}}{E\ [VAN]_{opción\ 1}} = \frac{1\ 662}{2\ 882} = 57\%$$

$$CV_{opción\ 2} = \frac{\sigma\ [VAN]_{opción\ 2}}{E\ [VAN]_{opción\ 2}} = \frac{1\ 452}{2\ 454} = 60\%$$

Por lo tanto, luego de haber analizado el riesgo, se obtuvo como resultado que el coeficiente de variación de la primera opción es 57% y de la segunda es 60%, entonces, se concluye que la alternativa 1 es la decisión correcta porque se pudo comprobar que hay menor riesgo.

III. CONCLUSIONES

El árbol de decisión es una técnica sencilla y fácil de aplicar para dar solución a problemas que se producen en la ejecución de las operaciones mineras; cabe resaltar que al considerar el análisis de riesgos va a permitir comprobar si la decisión que se elige es la correcta.

En el proyecto Atlantis, se llevó a cabo el análisis de escenarios con las diferentes alternativas planteadas, donde se muestra una variación en los resultados. Respecto al VAN, en el primer escenario se obtuvo valores con un beneficio mayor, sin embargo, en el segundo escenario su beneficio es bajo, por lo tanto, al haber realizado una comparación de ambos, se deduce que la primera alternativa es la más viables por obtener un alto beneficio.

Respecto a la representación gráfica del árbol de decisión se concluye que, para la ejecución del crucero la elección de la primera alternativa es la más certera. Esto se comprobó al analizar los riesgos en ambos escenarios, obteniendo como resultado que, el porcentaje de riesgo del primero fue menor a comparación del segundo, de esta manera se concluye que la primera alternativa es la correcta porque tiene un mayor beneficio y menor riesgo.

IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] R. Sánchez, O. Gamboa, and J. Díaz, "Models used for decision-making in health care", *Redalyc.org*, pp. 178 - 188, January 2008.

[2] R. Barrientos et al., "Decision trees as a tool in the medical diagnosis". *Rev Med UV*, pp. 20 - 24, September 2009.

[3] T. Campbell, H. Roder, R. Georgantas, and J. Roder, "Exact Shapley values for local and model-true explanations of decision tree ensembles". *Machine Learning with Applications*, vol. 9, pp. 1 - 13, September 2022.

[4] G. Solarte and J. Soto, "Decision trees in the diagnosis of cardiovascular diseases", *Scientia Et Thecnica*, pp. 104 - 109, December 2011.

[5] M. Lizares, "Comparación de modelos de clasificación: regresión logística y árboles de clasificación para evaluar el rendimiento académico", 2017.

[6] R. Depool and M. Dióscoro, "Probabilidad y estadística, aplicaciones a la ingeniería", Venezuela, 2013.

[7] S. Nadizadeh et al., "A decision model based on decision tree and particle swarm optimization algorithms to identify optimal locations for solar power plants construction in Iran", *Renewable Energy*, vol. 187, pp. 56 - 67, March 2022.

[8] F. Aguiar, "Teoría de la decisión e incertidumbre: modelos normativos y descriptivos", *Empiria: Revista de Metodología de Ciencias Sociales*, pp 139 -160, 2004.

[9] E. Tarapuez, J. Zapata, and E. Agreda, "Knight and his contributions to the entrepreneur theory", *ScienceDirect*, vol. 24, n°106, pp. 83 - 98, January - March 2008.

[10] M. Peñaloza, "Teoría de las decisiones", *Redalyc.org UAEM*, n°25, pp. 227 – 240, Enero - Junio 2010.

[11] R. Quispe, "Aplicación de árbol de decisiones para la aprobación de proyectos mineros en la Compañía Minera Kolpa S.A. Ayacucho", 2007.

[12] S. Torres, G. Campos, and C. Bolanos, "Application of a fuzzy decision tree with ambiguity classification to determine excess weight in schoolchildren", *Scielo*, vol. 39, n°2, pp. 128 - 143, 2018.

[13] J. Riascos and J. Molina, "Brif considerations about the importance of decision trees in portafolio analisys", *Scielo*, vol. 17, n° 17, pp 11 - 13, 2016 .

[14] L. Jiao, H. Yang, Z. Liu, and Q. Pan, "Interpretable fuzzy clustering using unsupervised fuzzy decision trees", *Information Sciences*, vol. 611, pp 540 - 563, September 2022.

[15] J. Singh et al., "Comparative study of regressor and classifier with decision tree using modern tools", *Materialstoday: Proceedings*, vol. 56, pp. 3571 - 3576, 2022.

[16] J. Tom, "Árbol de decisión para la gestión y control del costo de transporte interior mina", Santiago de Chile, Marzo 2014.

[17] C. Jin, F. Li, S. Ma, and Y. Wang, "Sampling scheme-based classification rule mining method using decision tree in big data environment", *Knowledge-Based Systems*, vol. 244, pp 1 - 14, May 2022.

[18] "Lucidchard", 2022. Available: https://www.lucidchart.com/.

[19] C. Pérez, "Técnicas de segmentación", *Garceta*, 2011.

[20] V. Berlanga, M. Rubio, and R. Vila, "Cómo aplicar árboles de decisión en SPSS". *REIRE*, vol. 6, n° 1, pp. 49 - 65, January 2013.

[21] C. Magni and A. Marchioni, "Average rates of return, working capital, and NPV-consistency in project appraisal: A sensitivity analysis approach", *International Journal of Production Economics*, vol. 229, pp. 1 - 15, November 2020.

[22] M. Mete, "Net present value and internal rate of return: its utility as tools for analysis and evaluation of", *Scielo*, vol. 7, n° 7, pp. 67 - 85, March 2014.

[23] F. Knigh, Risk, Uncertainty and profit, 1921.